36 非定常塩水楔の諸特性に関する実験的研究

東京電機大学 建設工学科 有田正光 真崎哲二 廣沢佑嘯

Experimental Study on Unsteady Saline Wedge

(by Masamitsu Arita, Tetsuji Masaki, Yuusuke Hirose)

Three types of mixing (stratified, partially mixed, well mixed) observed in tidal estuaries are well known. Although its importance for engineering aspects, hydraulic classification is not yet completed because of the lack of knowledge of physical mixing mechanism on density interface by tidal currents. The behavior of unsteady saline wedge and mixing of the interface due to tide are studied experimentally. The large scale and strong mixing are observed and visualized at the flooding tide which may cause partially or well-mixed type. This phenomena is explained to be caused density interface which caused by the interaction tidal currents and density flow from river and progress toward river mouth from the sea. The experimental results such as time variation of upper and lower layer depth, et. al. are also presented and discussed.

1. はじめに

塩水楔が潮汐の効果を受けて非定常運動をする場合には3種の混合形態(弱混合, 緩混合, 強混合)が観察されることが知られている。実際の塩水楔において, いずれの混合形態が出現するかを予測する事は工学的に重要である。しかしながら各種混合形態の発生の水理条件とその物理的なメカニズムについては不明な点が多い。本研究は密度界面の崩壊など非定常塩水楔の挙動の基礎的な側面を実験的に明らかにすることを目的としている。

2. 実験装置と実験要領

今回の実験に使用した実験水路は図1に示すような矩形断面水路である。同図において水路の長さ, 幅, 高さは実験条件を広範囲なものとする為に2種類の水路, つまり, 水路Ⅰ: $L=300\text{ cm}$, $B=20\text{ cm}$, $H=40\text{ cm}$ と水路Ⅱ: $L=400\text{ cm}$, $B=5\text{ cm}$, $H=20\text{ cm}$ が使用された。実験装置の下流端の海域を模擬する貯水部にフロートを上下させて潮汐を発生させる潮汐発生装置が設置されている。実験は塩水楔の挙動に関する実験を行なう為に一般的な淡・塩水二層の実験とせず, 温・冷水二層で実験を行なったつまり冷水を水路内に流して河川流を模擬するとともに温水を水路中の下流端上層より放出し塩水楔を模擬した。これは温水が二次元の水路内に侵入すると極めて短時間のうちに上流側水表面に薄いゴミなどのフィルムが形成され, これによって水表面付

Fig.1 Experimental apparatus (unit:mm)

* Faculty of Science and Engineering, Hatoyama, Saitama 350-03, Japan

近にほぼ零流速域が形成される事によって温水塊は密度カレントではなく密度楔の形態をとるという原理に基づくものである¹⁾。本手法の最大の利点は海域に相当させる貯水部の大きさが比較的小さくとも半無限水域で近似される海域と河川との干渉が再現し易い事である。

実験における流速測定は主としてプロベラ流速計および電磁流速計を使用して行なった。温度の測定にはサーミスタを使用し、その出力をマイクロコンピュータに送り処理した。また、流れの可視化には染料を使用した。

3. 実験結果とその考察

実験においては先ず著者等の導入した温冷二成層による手法の妥当性を検証する為に定常の塩水楔の実験を行ない従来の淡塩二成層による塩水楔の実験結果と定性的にも定量的にも良く一致するものであることを確認した²⁾。

以下に実験結果とその考察を示すが本章に引用する実験の諸条件について纏めて表1に示す。

	Case1	Case2	Case3	Case4
使用水路	I	II	II	II
a (cm)	0.8	1.6	1.6	1.6
H _a (cm)	10.0	10.4	10.5	11.6
T (sec)	60.0	60.0	60.0	60.0
q _r (cm ² /s)	17.5	17.5	20.0	40.0
ε (×10 ⁻³)	2.247	2.909	1.473	8.611

ここに、a: 潮位、H_a: 平均水位、T: 周期
 q_r: 単位幅冷水流量、ε: 密度差

Table.1 Summary of test conditions

(3-1) 密度カレントの発生とその可視化

本節においては実験で観察した河口付近において形成される密度カレントの成因とそれが上下層の混合に及ぼす効果について考察するとともに実験結果を示す。

図2 aに示すように河川水が半無限水域で近似しうる海域に流出するとき、河川水は海域の水表面に楔状に拡る。この河川水の拡りの先端部に上げ潮時の一樣流で近似しうる、沖合いから河口に向かう潮汐流が接近するときそこに密度カレントが形成される。また良く知られているように密度カレントの頭部には激しい乱れを伴う。本研究においてはこの密度カレントが河口に向かって遡上するとき、密度カレントの頭部近傍の乱れの強い部分が河川内に侵入することによって上下層の混合が促進され、結果として河口近傍において緩混合もしくは強混合の塩水楔が出現することになりうると考える。

ところで、須賀等³⁾は長良川の実測で河口付近における内部渦を観察し、それが潮汐に応じて河川内を遡上、流下を繰り返すと報告している。著者等は彼等の観察した内部渦は本報で指摘する密度カレント後部のスケールのおおきな渦が潮汐に伴って遡上、流下する現象であると推察する(写真1参照)。

写真1は実験ケース1の河口近傍の密度カレントによる密度界面崩壊の様子の可視化写真である。同写真よりスケールの大き

Fig.2 Density interface of steady and unsteady saline wedge

Photo.1 Collapse of density interface due to density currents

Photo.2 Flow visualization of density interface of unsteady saline wedge

な混合が観察される。また写真2は実験ケース2の場合の密度界面付近の染料による経時変化の可視化写真である。上げ潮が始まると密度界面崩壊が進行してゆく様子が分かる。

ところで河口近傍の混合の程度は密度カレントの成長の度合いに大きく依存する。従って、潮汐の振幅や河川の流量などの水理条件の他に海域の地形なども重要となる。

(3-2) 非定常塩水楔諸量の経時変化

図3は上下層厚さと全水深の経時変化の一例を示すものである(実験ケース3)。河口付近($x=20\text{ cm}$, 50 cm)においては下げ潮時には緩やかな上層厚の減少と下層厚の増加が観察されるのに対して上げ潮時にはその初期に急激な上層厚の増加と下層厚の減少が観察された後、緩やかな変化を示す事が観察される。また、十分上流側($x=200\text{ cm}$, 300 cm)では上下層厚はほぼ水位変動と同様で、かつ緩やかな変化をする

ことが分かる。さらに河口からの距離が中間的である位置 ($x = 100 \text{ cm}$) では下層厚はほぼ一定で上層厚のみが水位変動に対応して変化していることが分かる。これらの諸点は河口付近における密度カレントの形成を念頭におけば説明できるものである。

図4は河口近傍の水位, x 方向流速, 鉛直方向流速の経時変化の一例を示す。また, 同図より密度カレントの発生の効果によって上げ潮の初期に強い乱れの発生と, その後の急激な減衰が観察される。さらに下げ潮に転じた直後に再度の急激な乱れの増加が認められる。これは上流側に密度カレントによって形成された乱れの強い部分が流下してくるためである。

3. 総括

本報は今回実施した非定常塩水楔の実験結果の一部より, 密度カレントの発生とそれが非定常の密度楔の諸量に及ぼす効果について述べたものである。本研究は感潮河川の河口近傍の混合および流れの特性の理解の一助となりうるものと考ええる。

参考文献

- (1) Jirka-Arita: Density Currents or Density Wedges - Boundary Layer Influence and Control Methods, J.F.M., Vol.177, pp.187~206, 1987
- (2) 有田・真崎: 非定常塩水楔の挙動に関する研究, 第34回水理講演会論文集, 1990
- (3) 須賀: 河川における塩水楔と内部渦の特性, 第23回水理講演会論文集, pp.369~374, 1979

Fig.3 Time variation of upper and lower depth

Fig.4 Time variation of velocity of x, z components